第38卷 第2期 昆虫学报 Vol. 38, No. 2
1995年5月 ACTA ENTOMOLOGICA SINICA May, 1995

影响稻褐飞虱声诱集的若干因素*

(同翅目：飞虱科)

张志涛 傅强 陈伟
(中国水稻研究所 杭州 310006)

赵国富 陈春华
(浙江农业大学 杭州 310029)

摘要 稻褐飞虱 *Nilaparvata lugens* (Stål) 雌、雄成虫均能发出由固体介质(寄主植株)传递的鸣声(振动)信号，用于交尾前的个体间通讯。雄虫对雌虫鸣声或重放鸣声录音具有强趋性。由此研制的声诱集器有可能首先用于改进褐飞虱测报的田间采样技术。声诱集效果受若干因素的影响。实验室试验结果表明，声诱集具有种的选择性；诱集率随雄虫虫龄变化，对羽化后4—5日龄雄虫的诱集率最高；异性干扰对诱集效果有明显影响；一天中，中午前后诱集率最高，9:00—18:00的诱集量占总诱集量的54.0%±10.8%；诱集率随气温变化，26℃—28℃诱集效果最好；而室外晴、阴、雨等天气差异对诱集率无显著影响；另外，随诱集信号播放时间的延续，诱集率下降；间断信号的诱集效果高于连续信号。

关键词 褐飞虱，声诱集

稻褐飞虱 *Nilaparvata lugens* (Stål) 广泛分布在东亚、东南亚、南亚次大陆、澳大利亚北部和南太平洋群岛，是亚洲稻作生产的重要害虫。

褐飞虱雌、雄成虫均能振动腹部，发出由固体介质(寄主植株)传递的鸣声(振动)信号，用于交尾前的个体间通讯[1-4]。信号具有种或种以下分类单元的特异性，有联络、识别同种异性个体，刺激性兴奋和为雄虫寻觅雌虫导向三种作用[5,6]。雄虫对雌虫鸣声以及重放鸣声录音都具有强趋性[7]。上述研究结果使研究鸣声诱集褐飞虱技术成为可能。

张志涛等[8-9]设计的褐飞虱声诱集器，室内对4—5日龄未交尾褐飞虱雄虫的2h诱集率达到24.4%—66.7%。同时，在褐飞虱发声机理的研究基础上，建立了相应的力学和声学模型，成功地用电子模拟系统合成对雄虫具有引诱力的模拟信号[10]，用以改进诱集信号源，平均诱集率达44.8%±5.7%。

声诱集技术有可能用于改进褐飞虱测报的田间采样技术。其关键，一是提高声诱集器的技术性能，研制电路合理、诱集效果好、体积小、成本低、性能稳定、操作方便和适应全天候作业的实用的诱集器；二是应当了解诱集效果与各种影响因素的关系，为改进声诱集

* 国家自然科学基金资助项目。
本文于1993年1月收到。

技术提供科学依据,并保证测报的准确性。

近 4 年中,笔者在实验室条件下对褐飞虱声诱集效果与试虫种类、虫龄、异性干扰、性行为节律、天气条件、信号形式及信号播放时间的关系进行了初步研究。本文报道研究结果。

1　材料和方法

1.1　声诱集器及其应用技术

声诱集器系笔者研制,由诱集信号发生器、电-振换能器和机械陷阱组成。信号发生器输出的电信号,经换能器转换成机械振动信号,再由传振杆传到稻株上。传振杆恰好经机械陷阱前端的入口贯穿机械陷阱，连接陷阱前方的稻株和后方的换能器。机械陷阱由无味无毒的透明塑料薄片制成。入口是很小的圆孔，与传振杆之间的间隙刚刚能允许飞虱钻入。雄虫可循声(振动)信号，沿稻株、传振杆进入机械陷阱。为减少雄虫逃跑的机会,陷阱内侧敷设粘虫胶环。胶由沈阳化工厂生产,性能符合试验要求。试验以盒式单放机重放雌虫鸣声录音作诱集信号源。在研究与性行为节律及信号形式的关系等时，采用电子模拟系统产生的人工模拟信号。模拟信号对雄虫的引诱力与重放雌虫鸣声录音无显著差异[10]。详细构造和应用技术拟另文发表。

1.2　试虫、试验用苗和试验条件

试虫由中国水稻研究所养虫室群体饲养。按试验要求吸取若虫；或每天吸取初羽化成虫,按试验要求分雌、雄或雌雄混合饲养,供试验选用。

饲虫及试验用苗均采用感虫品种台中在来一号（TN1)。

试验于每年 7—10 月在实验室内进行。自然光照。除研究与温度的关系外，其它试验室温 26℃—30℃。环境保持安静,尽量减少噪音和振动干扰。

1.3　试验方法

多数试验在小型观察笼内进行。试验用苗提前 2 天准备，取 3 丛 60 日秧龄的 TN1 无虫植株,每丛含 20—30 株分蘖，适当剔除影响试验的弱小分蘖和老叶，剪去叶梢，保留株高约 50cm，呈等边三角形移植在水盆（直径 32 cm，高 10 cm）内。盆内水田土深 7—8cm，移植后保持 1—2cm 浅水层。试验时，将稻苗盆放在人造海棉防振垫（长宽各 50cm，厚 10cm）上，罩以圆筒形透明塑料薄膜笼。笼高 60cm，直径 33 cm，有效试验空间约 44 500 cm^3。诱集器安装在粗壮的稻株上，距水面约 10 cm。按处理要求接入试虫,静置 1h。然后,开启诱集信号发生器，将信号输入稻株，观察诱集情况，记录诱集虫数。试验在每天 13:00—16:00 时进行,诱集试验时间为 2h。重复 6 次，试虫不重复使用。

与天气条件的关系于 1991 年 8—10 月在自然条件下进行研究，随气温下降选择 32℃—20℃的计划试验室温,并记录晴、阴、雨等天气情况,观察、记录诱集效果。试验方法同上述。

与性行为节律的关系在大型养虫笼中进行。笼高 80cm，长 80 cm，宽 60 cm，有效试验空间约为 345 600cm^3。养虫笼置于浅水盆中，水深 6—8cm。笼内排列 60 日秧龄的 TN1 盆栽无虫植株 16 丛,横竖成行,每丛含 20—30 株分蘖。然后，均匀接入 2—5 龄若

虫 1 500 头，初始虫口密度 80—100 头/丛。在笼中心和边缘各安装一只诱集器，以间断模拟信号为诱集信号源。待若虫开始羽化后开启信号发生器，每 3h 记录一次诱集虫数。试验采取复置抽样，诱集器中不设胶环，记录后将捕获雄虫重新随机地放回群体。试验持续 20 天，重复 3 次。

2 结果和分析

2.1 声诱集具有种的选择性

褐飞虱鸣声与其他种飞虱，如白背飞虱 *Sogatella furcifera* (Horvath) 不同，各具有其种的特征。试虫仅对同种异性鸣声敏感，即诱集信号对所诱集对象有种的选择性。

试验将 15 头 4—5 日龄褐飞虱雄虫与等量 4—5 日龄白背飞虱雄虫混合后置于笼内，分别以重放褐飞虱雌虫鸣声录音或白背飞虱雌虫鸣声录音作诱集信号源。结果，其中任何一种雌虫鸣声均只能诱集混合试虫中的同种异性个体（表 1）。因为白背飞虱雄虫习性比褐飞虱活跃，试验中时常有一些个体飞起，或停留在笼罩上，诱集率低于褐飞虱。

表 1 不同种雌虫长鸣声录音对 4—5 日龄稻褐飞虱雄虫、白背飞虱雄虫混合群体的诱集效果

试虫组成	诱集率 (%)		
	播放褐飞虱雌虫录音	播放白背飞虱雌虫录音	无诱集信号
褐飞虱雄虫 15 头	21.7±3.7*	0	0
加			
白背飞虱雄虫 15 头	0	12.5±2.3*	0

* 平均数±标准差，表中数据均为 6 次重复的平均数。

按照褐飞虱雌虫鸣声时域、频域特征制作的模拟信号，其脉冲重复频率（PRF）为 19 Hz，主振频率（MVF）为 300 Hz，脉宽（PW）为 16 ms，亦只能诱集褐飞虱雄虫。在 6 次试验中，仅有 1 头白背飞虱进入陷阱，误诱率为 0.82%。

2.2 诱集效果与试虫虫龄的关系

褐飞虱雌、雄虫鸣叫的积极程度和对异性鸣声反应的敏感程度，均与其性器官发育和性行为有关。鸣声诱集效果明显地随雄虫虫龄变化。

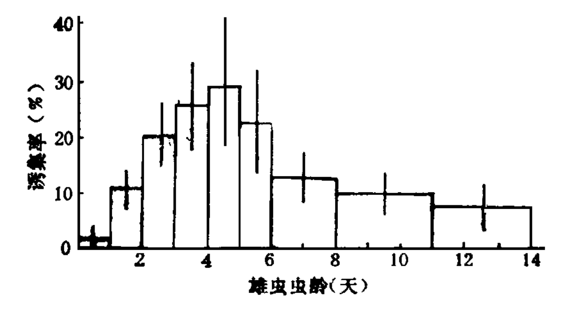


图 1 稻褐飞虱 *N. lugens* 雌虫长鸣声录音对不同日龄雄虫的诱集效果

图中矩形上沿表示平均诱集率，竖线为上下各一标准差。

褐飞虱羽化多在夜间，但其它时间里也有。每天吸取的初羽化成虫虫龄有几小时至十几小时的差异，所以本试验虫龄以某一时区间表示，如羽化后 1—2 日、2—3 日等。

羽化当日的雄虫对诱集信号反应甚弱，6 次 270 头试虫中仅诱获 3 头，平均诱集率为 1.1%±1.3%。其后诱集率迅速上升，羽化后 1—2 日平均为 10.5%±3.1%，2—3 日为 20.3%±5.1%，3—4日可达 25.6%±8.0%，其中2—3日增长幅度最大。在

羽化后的最初几天内，试虫个体差异较大，少数个体能较早地表现出求偶的积极性，对诱集信号具有较强趋性。羽化后 4—5 日诱集率达到最高值，平均为 28.7%±10.9%，最高达 51.1%。5—6 日以后开始下降，但仍保持一定水平，6—14 日的 8 天中平均诱集率仅下降 9.1 个百分点。在另一次试验中，13—14 日龄尚出现过诱集率为 24.4%的情况，可以推断雄虫对诱集信号的趋性在 14 日以后还可能继续一些时间。褐飞虱雌虫长鸣声录音诱集效果与雄虫虫龄的关系如图 1 所示。

2.3 雌虫对诱集效果的影响

试验结果(表 2)表明，雌虫的存在明显影响雌虫鸣声录音对 4—5 日龄雄虫的诱集效果。

表 2 稻褐飞虱雌虫对间断雌虫鸣声录音诱集 4—5 日龄雄虫效果的影响

处　理*	试虫头数	诱　集　率(%)		
		最大值	最小值	平均值
雄虫单独饲养，单独供试	45♂	91.1	44.4	71.8±15.9** a
雌、雄虫混合饲养，雄虫单独供试	45♂	26.7	17.8	23.0±3.6　b
雌、雄虫混合饲养，混合供试	45♂+45♀	17.8	6.7	11.5±4.1　c
雌、雄虫分开饲养，混合供试	45♂+45♀	13.3	0	6.7±2.0　c

* 混合饲养或混合供试的性比均为 1:1。
** 平均数±标准差，表中平均诱集率均为 6 次重复的平均数；平均数竖列中后随字母无相同者，表示 LSR 检验 $\alpha = 0.05$ 水平上差异显著。

雄虫与雌虫分开饲养，混合后供试，鸣声对 4—5 日龄雄虫的平均诱集率仅为 6.7%±2.0%，效果最差。试验中，许多雄虫首先找到雌虫，忙于交尾，雌虫对于诱集信号有较强的竞争性。雄虫与雌虫混合饲养，混合供试，诱集率稍高。但试验中，部分雄虫仍三三两两地簇拥在雌虫身后，对诱集信号不敏感。若雄虫与雌虫混合饲养，雄虫单独供试，诱集效果明显提高，平均诱集率达 23.0%±3.6%，与混合供试的情况差异显著。然而，如果供试雄虫羽化后完全未接触过雌虫，试验中雄虫对诱集信号刺激的兴奋程度明显高于上述三种情况，平均诱集率高达 71.8%±15.9%，差异显著。

2.4 诱集效果与试虫性行为节律的关系

褐飞虱成虫性行为表现出一定的节律，一天 24h 中的诱集效果明显地随其性行为节律作周期性变化。

试验中，每隔 3h 观察记录一次诱获虫数。结果(图 2)表明，夜晚诱集量较少，21:00—6:00 时，平均诱集量为 33.3±16.2 头，占总诱集量的 28.0%±2.3%。上午诱集量逐渐增加，中午前后达到最高值，下午诱集量又逐渐下降。9:00—18:00 时诱集量较多，平均为 74.0±36.4 头，占总诱集量的 54.0±10.8%。

2.5 诱集效果与天气的关系

温度：在 20.0℃—32.0℃的自然室温下，对 4—5 日龄雄虫的诱集率，随温度有明显的变化，以 26.1℃—28.0℃诱集效果最好，这个温度也是饲养褐飞虱的最适温度。高于 28℃或低于 26℃，诱集率逐渐下降(图 3)。据以往观察，室温高于 33℃或低于 20℃褐飞虱即不能正常求偶[6]。

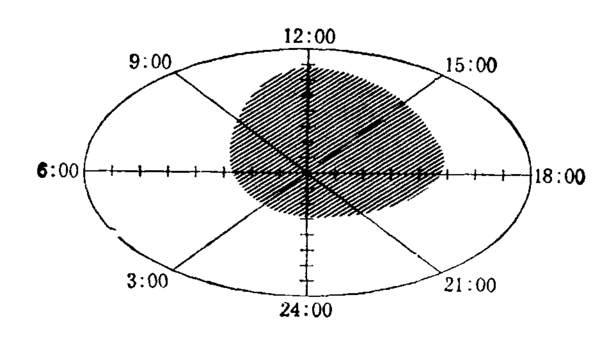


图 2 群体诱集试验中,诱获稻褐飞虱 *N. lugens* 雄虫数量(以阴影部分表示)在一天中不同时刻的分布

半径向量每分格表示诱获量为 10 头雄虫。

晴雨：将试验结果分"晴"和"阴，雨"两组进行统计分析，"晴"组平均诱集率为 15.3% ±7.5%，"阴，雨"组为 20.0% ± 8.0%，*t* 测验结果，*t* = 0.931，差异不显著。

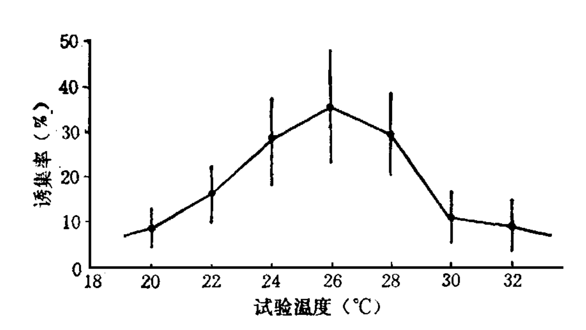


图 3 不同自然室温条件下,雌虫长鸣声录音对 4—5 日龄稻褐飞虱 *N. lugens* 雄虫的诱集效果

图中各点竖线表示上下各一标准差。

2.6 诱集效果与信号播放时间的关系

试验结果表明，随诱集信号播放时间的延续,诱集率下降。例如,一个阶段试验中共诱获试虫 311 头，其中 215 头是在信号开始播放后 0.25h 内诱获的，占总诱获虫数的 69.1%，54 头是在播放信号后第二个 0.25 小时内诱获的，占总数的 17.4%，在以后的 0.5—1h、1—1.5h 和 1.5—2h 内的诱获虫数分别为 34 头、7 头和 1 头，分别占总数的 10.9%、2.25% 和 0.32%。

可以再分析一组数据：在试验空间内有试虫 45 头，诱集信号播放后 0.25h 内平均诱获试虫 9.7 头，诱集率为 21.5%。此时空间内剩余试虫平均为 35.3 头，虫口密度亦下降 21.5%。若试虫对诱集信号的敏感程度相同,诱集率不变，信号播放后的第二个 0.25h 内应诱获试虫 6.0 头，但实际仅平均诱获 2 头。依此类推，以后的 0.5—1 h、1—1.5 h 和 1.5—2h 的各段时间里应诱获虫数分别为 7.1 头、4.3 头和 2.7 头，然而实际诱获数仅分别平均为 1.2 头、0.5 头和 0 头。分析结果表明,诱集率随诱集时间延续而下降,除试验空间内试虫密度下降外,试虫对诱集信号敏感性下降是一个重要原因。

试虫敏感性下降有两方面的含义：一是试虫个体对诱集信号产生适应,敏感性下降；二是试虫对诱集信号的敏感程度存在个体差异，剩余的试虫群体敏感性相对较低。据观察,开始播放诱集信号的一段时间内,90%以上的试虫显得很激动,积极爬动,循声寻觅信号源,这时诱集率最高。其后,未进入陷阱的试虫在复杂交叉的茎叶之间多次往返未得其果，积极性逐渐降低，诱集率也随之下降。最后，一些试虫终于放弃了对诱集信号的追求。

2.7 诱集效果与信号形式的关系

试验结果表明，播放连续的诱集信号与播放间断的诱集信号，效果存在明显差异。例如：雌虫长鸣声(呼唤声)录音，信号持续时间为数十秒至数分钟，相邻信号段间隔 1s 左右，信号基本连续，平均诱集率为 28.9% ± 7.4%，而雌虫间断鸣声(应答声)录音，信号持续时间 5—15s，相邻信号段间隔 5—7s，信号间断，平均诱集率为 71.8% ± 15.9%，比连续诱集信号提高达 42.9 个百分点，差异显著。又如：人工模拟雌虫鸣声，脉冲重复频率 19Hz，主振频率 300Hz，脉宽 16ms，信号连续，平均诱集率为 22.2% ± 3.4%，而声学参数相同，仅将信号持续时间改为 10s，相邻信号段间隔 3 s，信号间断，平均诱集率可达 44.8% ± 5.7%，比连续模拟信号亦提高 22.6 个百分点，差异同样显著。

3 讨论

声诱集可以同时诱集长、短两种翅型雄虫，同时具有种的选择性，因此优于灯光诱集，有可能改进稻飞虱测报的田间采样技术。

明确鸣声诱集效果与各种影响因素的关系，将为改进声诱集技术提供科学依据。例如，将连续的诱集信号改为间断的信号，可以提高诱集效果；而用光控开关控制诱集器电源，使其仅在白天工作，又可以有效地减少电源消耗。同时，研究分析稻飞虱敏感声学因子(或其组合)，优化简化诱集信号，对提高诱集效果显得十分重要。

应当说明，研究诱集效果与褐飞虱翅型分化的关系十分重要。但是，在同一季节相同的饲养条件下，很难同时得到足够数量的长、短两种翅型雄虫，试验有一定难度。笔者已完成的部分试验中，尚未发现对长、短两种翅型雄虫的诱集效果存在显著差异。

稻飞虱鸣声信号微弱，褐飞虱雄虫对鸣声的可感觉距离(沿稻杆)为 60—80cm[7]。诱集信号强度亦应是影响诱集效果的重要因子。室内初步试验结果表明，褐飞虱雄虫对诱集信号强度有较宽的适应范围。详细的研究有待在较大的试验空间里(如田间)进行。本项试验采用的诱集信号强度比实际雌虫鸣声约高 10dB。

声诱集技术在稻飞虱测报中的实际应用，还必须进行大量田间试验，研究各种因素的综合影响，确定诱集量与田间实际虫量的相关关系，以保证测报的准确性与可行性。

参　考　文　献

1 Ichikawa, T., S. Ishii. Mating signal of the brown planthopper, *Nilaparvata lugens* (Stål) (Homoptera: Delphacidae): Vibration of the substrate. Appl. Entom. Zool. 1974, **9**: 196—198.
2 Ichikawa, T., M. Sakuma, S. Ishii. Substrate vibrations: mating signals of three species of planthoppers which attack the rice plant. Appl. Entom. Zool. 1975, 10: 162—171.
3 Claridge, M. F. Acoustic signals in the Homoptera: Behavior, taxonomy, and evolution. Ann. Rev. Entom. 1985, 30: 297—317.
4 Claridge, M. F. Acoustic behavior of leafhoppers and planthoppers: Species problems and specification. pp. 103—125. In: The Leafhoppers and Planthoppers (Ed. by L. R. Nault and J. G. Rodriguez). John Wiley & Sons Inc. Toronto, Canada. 1985, 500p.
5 张志涛，陈伦裕. 三种飞虱、叶蝉求偶鸣声的采集和分析. 科学通报，1987，**32**(20)：1583—1586.
6 张志涛，殷柏涛，陈伦裕，等. 褐稻虱求偶鸣声和交尾行为. 昆虫学报，1991，**34**(3)：257—265.
7 孔维泽，张志涛. 褐稻虱 *Nilaparvata lugens* (Stål) 和白背飞虱 *Sogatella furcifera* (Horvath) 对异性鸣声的趋性. 中国水稻科学，1989，**3**(2)：82—88.
8 张志涛，陈伦裕. 昆虫振动信号监听、记录和重放技术. 昆虫知识，1991，**28**(3)：170—172.

9 Zhang Zhitao, Fu Qiang, Zhao Guofu. Sound Trap for Rice Planthoppers. Proceedings of the XIX international congress of entomology, Beijing, 1992, PP. 126.
10 张志涛,殷柏涛,陈伦裕,等. The model of signal production and the simulation of female signals in rice brown planthopper, *Nilaparvata lugens* (Stål) (Homoptera: Delphacidae). 中国水稻科学, 1991,5(1): 29—36.

EFFECT OF SOME FACTORS ON ACOUSTIC TRAPPING FOR *NILAPARVATA LUGENS* (STÅL) (HOMOPTERA:DELPHACIDAE)

Zhang Zhitao Fu Qiang Chen Wei
(China National Rice Research Institute Hangzhou 310006)

Zhao Guofu Chen Chunhua
(Zhejiang Agricultural University Hangzhou 310029)

Abstract Sexual recognition and communication in the rice brown planthopper, *Nilaparvata lugens* depend on substrate vibration. Based on the strong taxis of male to female signal of the same species, an acoustic trap system comprised of a mechanical trap, a transducer and a trapping signal generator, was assembled for the laboratory experiments. The results showed that the acoustic trap was characterized by its species specification. The trapping percentage (TP) of the acoustic trap varied with the age of males tested; it reaches the maximum when the males were 4 to 5 days after emergence. With the experiment time lasting, the trapping effect was reducing. Furthermore, when the discontinous signal was used, TP was higher than that when the continous signal was used. From 9:00 to 18:00, the number of the males trapped was 54.0%±10.8% of the 24h total; the highest number was around noon. Ambient temperature also affected TP. Between 26℃ and 28℃, the acoustic trap had the highest TP. But the weather outside such as sunny, cloudy and rainy day, did not influence TP in the laboratory distinctly. The acoustic trap had good effect on the trapping for both the macropterous and brachypterous males. It would improve the collection procedure for rice planthoppers in the field and be applied for pest forecasting purpose.

Key words *Nilaparvata lugens*, acoustic trap